L22DC

Proponente:
INFRASTRUCTURE
ITALIA LAND 2 S.r.l.
Via del Bosco Rinnovato, 6
20057 – Assago (MI), Italia

Progetto Nuovo Data Center Campus Siziano

VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE
ai sensi del Titolo III del d.lgs. 152/2006

Relazione geotecnica strutturale MIL07

Documento
4553-L22-ZZ-ZZZ-TRP-ST-0024

Data
30 giugno 2026

Revisione
V.00

STACK INFRASTRUCTURES

Via Lombardia 1, Siziano, Milan, Italy

MIL07

RELAZIONE GEOTECNICA

MIL07-DBA-XX-XX-CA-S-00002

06/03/2026

Stato - S5 (Appointing Party review and acceptance)

Codice commessa 13038001

Nome File: MIL07-DBA-XX-XX-CA-S-00002- Relazione geotecnica.docx

Firmato digitalmente da

Elvis Barattin

O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Belluno
C = IT

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Branch Office
DBA
Via Natale Battaglia, 10
20127, Milano
Italiy
+39 02 5829821
dbaprogetti@pec.dbagroup.it
www.dbagroup.it

Head Office
DBA S.p.A.
Santo Stefano di Cadore
32045, Santo Stefano di Cadore (BL)
Italiy
+39 0422 693511
dbaprogetti@pec.dbagroup.it
www.dbagroup.it

Progetto:	MIL 07
Indirizzo sito:	Via Lombardia 1, Siziano, Milan, Italy
Titolo documento:	RELAZIONE GEOTECNICA
Codice documento:	MIL07-DBA-XX-XX-CA-S-00002
Nome file:	MIL07-DBA-XX-XX-CA-S-00002- Relazione geotecnica.docx
Data revisione:	06/03/2026
Descrizione revisione:	S5- RIBA 4 Submittal
Codice commessa:	13038001
Redatto da	Ing. Giacomo Perino
Controllato da:	Ing. Giacomo Perino
Approvato da:	Ing. Elvis Barattin

Indice delle revisioni:

REV.	RED.	CONTR.	APP.	DATA	DESCRIZIONE
P01	GPE	GPE	EBA	07/11/2025	S4 – RIBA 3 Submittal
P02	GPE	GPE	EBA	06/03/2026	S5 – RIBA 4 Submittal

DBA. S.p.A. All rights and related copyright are reserved and owned by DBA. S.p.A. This document is the property of DBA. S.p.A. and may not be duplicated or published without written permission in whole or in part or be used for other purposes other than those indicate

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 4
1.1. Descrizione dell'opera 4
2. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE 6
3. CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE 7
4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI – FABBRICATO PRINCIPALE 9
4.1. Valutazioni sulla portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO) 9
4.2. Valutazioni sui cedimenti del terreno di fondazione (SLE) 18
5. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI – PLATEA AREA "GE" 27
5.1. Valutazioni sulla portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO) 27
5.2. Valutazioni sui cedimenti del terreno di fondazione (SLE) 36

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

1. INTRODUZIONE

La presente relazione viene redatta a corredo del progetto preliminare delle strutture relativo alla realizzazione di fabbricato ad uso datacenter da realizzarsi in Via Lombardia, nel Comune di Siziano (PV).

La verifica statica e sismica del fabbricato di progetto è stata effettuata tenendo conto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.

Le verifiche di resistenza del terreno e del sistema di fondazione sono state effettuate in base alle classiche teorie della geotecnica sulla portanza dei terreni, confrontando le sollecitazioni di progetto con la resistenza di progetto.

In particolare, con l'ausilio di un solutore elettronico si è riscontrato che sotto l'azione dei carichi, sovraccarichi ed accelerazione al suolo di progetto, la struttura scarica in fondazione un carico inferiore a quello limite calcolato per l'opera di fondazione.

1.1. Descrizione dell'opera

L'intervento consiste nella nuova costruzione di un fabbricato ad uso datacenter avente forma rettangolare in pianta con dimensioni massime pari a circa 210,0 x 30,0 m ed altezza massima fuori terra pari a circa 12,50 m.

Il fabbricato è costituito da n.2 comparti distinti per attività funzionali.

Il primo comparto ha consistenza di n.1 livello fuori terra adibito a datacenter con copertura piana che ospita una zona centrale impiantistica. A copertura di quest'ultima zona è collocata una piattaforma per i gruppi frigoriferi ("chiller platform"), dotata di mascherature in carpenteria metallica e pannelli fonoisolanti. Tale comparto è distinto in n.2 corpi di fabbrica per mezzo di un giunto sismico.

Il secondo comparto ha consistenza di n.2 livelli fuori terra (piano terra e piano piano primo) adibiti a uffici, più una copertura piana accessibile. Sui fronti della palazzina uffici sono previste velette in carpenteria metallica, mentre l'ingresso è coperto da un portale metallico. La palazzina uffici è separata dal corpo monopiano per mezzo di un giunto sismico.

A completamento dell'intervento è prevista un'area esterna per i gruppi elettrogeni, delimitata da mascherature perimetrali in carpenteria metallica e pannelli fonoisolanti.

Gli edifici sono realizzati con struttura portante in C.A. normale e precompresso, costituita da travi e pilastri orditi nelle due direzioni ortogonali. Più precisamente, i corpi di fabbrica saranno realizzati con struttura prefabbricata in C.A., costituita da travi in C.A. precompresso collegate

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

tramite un vincolo a cerniera a pilastri e setti in C.A. incastrati alla base (come previsto al punto 7.4.5.1 delle NTC).

La copertura del corpo monopiano e il primo impalcato della palazzina uffici sono realizzati con solai prefabbricati di spessore pari a 40cm, completati da una soletta in c.a. collaborante avente spessore pari a 10 cm.

La copertura della palazzina uffici è realizzata con solai prefabbricati di spessore pari a 30cm, completati da una soletta in c.a. collaborante avente spessore pari a 10 cm.

La copertura della “Chiller Platform” è costituita da travi principali in c.a.p. con sezione ad “I” di altezza pari a 80cm e da un’orditura secondaria costituita da travi metalliche in profili HEB360 e HEA160. Sul perimetro della copertura sono previste mascherature in carpenteria metallica e pannelli fonoisolanti per un’altezza totale pari a 3,70 m.

Le mascherature in carpenteria metallica dei gruppi elettrogeni esterni presentano altezza pari a 9,0 m.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La struttura di fondazione è del tipo a plinti in opera e pali CFA riduttori di cedimento, con innesti diretti per permettere il collegamento in continuità dei pilastri della sovrastruttura.

Gli innesti dei pilastri risultano costituiti da un sistema misto composto da tubi corrugati e da tirafondi predisposti nelle opere di fondazione e da scarpe e barre nervate predisposte negli elementi prefabbricati. Il giunto tra elementi prefabbricati in elevazione (pilastri e setti) e fondazione verrà infine riempito con malta a ritiro compensato tipo “Exocem G1” o malte di analoga prestazione.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

3. CARATTERISTICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

L'area in esame è situata a Nord-Est dell'abitato del Comune di Siziano, in una zona pianeggiante mediamente edificata posta ad una quota di circa 93,0 m sul livello del mare.

il sito d'interesse ricade in un'area caratterizzata litologicamente da "sabbie poco gradate con limo e ghiaia-ghiaie ben gradate con sabbia".

L'esame dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e dei diagrammi di resistenza penetrometrica relativi alle prove penetrometriche eseguite in sito ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica e parametri litologici e geomeccanici specifici.

Tali risultanze evidenziano una situazione litostratigrafica discretamente omogenea nelle verticali di indagine, in particolare i terreni indagati risultano sostanzialmente costituiti da alternanze di livelli più o meno sabbiosi alternati a limi.

Il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

Strato	Profondità [m]	Litologia
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose

Figura 1: modello litostratigrafico

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Di seguito si riportano i parametri geotecnici medi dei terreni presenti nell'area di studio:

Strato	Profondità [m]	Litologia	γ [kN/m³]	c' [kPa]	cu [kPa]	ϕ' [°]	E' [Kg/cm²]	Eu [Kg/cm²]
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto	-	-	-	-	-	-
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi	18	20	-	27-28	90-110	-
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose	18	-	-	33-34	140-180	-
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi	19	-	40	-	-	120-140
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose	19	-	-	33-34	250-300	-
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose	18	-	-	32-33	150-200	-

Figura 2: parametri geotecnici

La falda è stata riscontrata a profondità di circa -2.30 metri dall'attuale piano campagna.

Con riferimento alle caratteristiche del suolo che concorrono alla definizione dell'azione sismica, dall'analisi delle indagini effettuate si può affermare che il sito è caratterizzato da una **categoria di sottosuolo "C"** e da una **categoria topografica "T1"**.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

4. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI – FABBRICATO PRINCIPALE

4.1. Valutazioni sulla portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO)

Le verifiche di portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO) sono state eseguite con il software CARL dell'Aztec Informatica, in condizioni drenate (lungo termine) alla luce della natura del terreno presente in sito, seguendo l'*Approccio 2* (A1+M1+R3).

Si riporta di seguito la valutazione della capacità portante valutata con riferimento al plinto maggiormente sollecitato (plinti 320x320cm):

Richiami teorici

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q. Cioè, detto Q_u, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R >= \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c\, N_c\, d_c\, i_c + q\, N_q\, d_q\, i_q + 0.5\, \gamma\, B\, N_\gamma\, d_\gamma\, i_\gamma$$

In questa espressione:

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$A = e^{\pi\, tg\, \phi}$

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

$N_q = A\ tg^2(45° + \phi/2)$

$N_c = (N_q - 1)\ ctg\ \phi$

$N_\gamma = (N_q - 1)\ tg\ (1.4\phi)$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$K_p = tg^2(45° + \phi/2)$

I fattori *d* e *i* che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

<u>Fattori di profondità</u>

$d_q = 1 + 0.2\ (D / B)\ K_p^{0.5}$

$d_q = d_\gamma = 1$ per $\phi = 0$

$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\ (D / B)\ sK_p^{0.5}$ per $\phi > 0$

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$i_c = i_q = (1 - \theta°/90)^2$

$i_\gamma = [1 - (\theta° / \phi°)]^2$ per $\phi > 0$

$i_\gamma = 0$ per $\phi = 0$

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
		[m]	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*
Fondazione	(R)	0,00	0,00	3,20	3,20	1,80	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γsat Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]

Descr	γ	γsat	ϕ	δ	c	ca
	[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	1800,0	2000,0	27.00	18.00	0,200	0,100

Falda

Profondità dal piano campagna 2,20 [m]

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [kg/cmq]

Descrizione	E	ν
	[kg/cmq]	
Terreno	90,00	0.400

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

kh Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 3,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 0,0 [m] Y = 3,0 [m]

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	kh
	[m]	*[m]*	*[m]*		
1	-10,0	-10,0	-10,0	Terreno	1,00

Normativa

N.T.C. 2018

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Simbologia adottata

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

$\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

γ_{γ} Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

			Statici		Sismici	
Carichi	**Effetto**		**A1**	**A2**	**A1**	**A2**
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

		Statici		Sismici	
Parametri		**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3	R3sism
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30	1.80
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N Sforzo normale totale espressa in [kg]

Mx Momento in direzione X espressa in [kgm]

My Momento in direzione Y espresso in [kgm]

ex Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

ey Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T Forza di taglio espressa in [kg]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Condizione n° 1 - SLU

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	293420,0	10347,0	23,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Condizione n° 2 - SLV

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	189126,0	58483,0	20416,0	0,1	-0,3	90,0	0,0

Condizione n° 3 - SLE

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	295424,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Combinazione n° 1 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLU	1.00	1.00

Combinazione n° 2 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLV	1.00	1.00

Combinazione n° 3 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLE	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Verifica al carico limite

Metodo di calcolo della portanza: Meyerhof

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente: MEDIA ARITMETICA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: VESIC

Riduzione per comportamento a piastra.

Risultati

Verifica della portanza per carichi verticali

Simbologia adottata

Cmb Indice della combinazione

Fnd Indice della fondazione

PF Rottura per punzonamento in presenza di falda

q_u Portanza ultima, espressa in [kg/cmq]

q_d Portanza di progetto, espressa in [kg/cmq]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

P_u Portanza ultima, espressa in [kg]

P_d Portanza di progetto, espressa in [kg]

V Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kg]

η Fattore di sicurezza a carico limite ($\eta=P_d/V$)

Cmb	Fnd	PF	q_u	q_d	P_u	P_d	V	η
			[kg/cmq]	*[kg/cmq]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1	1	NO	15,48	6,73	1584937	689103	293420	2.35
2	1	NO	9,78	4,25	1001166	435290	189126	2.30
3	1	NO	17,38	7,56	1779639	773756	295424	2.62

Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

Simbologia adottata

Cmb Indice della combinazione

Fnd Indice della fondazione

H Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]

γ Peso di volume, espressa in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito, espressa in [°]

c Coesione, espressa in [kg/cmq]

G Modulo di taglio, espresso in [kg/cmq]

B' Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($B'=B-2e_x$), espressa in [m]

L' Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($L'=L-2e_y$), espressa in [m]

R_{ex} Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X

R_{ey} Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y

I_R Indice di rigidezza

I_{RC} Indice di rigidezza critico

Cmb	Fnd	H	γ	ϕ	c	G	B'	L'	Rex	Rey	I_C	I_{RC}
		[m]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[m]*	*[m]*				
1	1	2,61	1400,00	27.00	0,20	1718,09	3,20	3,20	--	--	3711.46	52.33
2	1	2,61	1400,00	27.00	0,20	1718,09	3,20	3,20	--	--	3711.46	52.33
3	1	2,61	1400,00	27.00	0,20	1718,09	3,20	3,20	--	--	3711.46	52.33

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Fattori correttivi verifica capacità portante

Combinazione n° 1

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 23.94	Nq = 13.20	Nγ = 9.46
Fattori di forma	Sc = 1.53	Sq = 1.27	Sγ = 1.27
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ_c = 1.00	Ψ_q = 1.00	Ψ_γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 1.00	Iq = 1.00	Iγ = 1.00
Fattori di profondità	Dc = 1.18	Dq = 1.09	Qγ = 1.09

Combinazione n° 2

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 23.94	Nq = 13.20	Nγ = 9.46
Fattori di forma	Sc = 1.53	Sq = 1.27	Sγ = 1.27
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ_c = 1.00	Ψ_q = 1.00	Ψ_γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 1.00	Iq = 1.00	Iγ = 1.00
Fattori di profondità	Dc = 1.18	Dq = 1.09	Qγ = 1.09

Combinazione n° 3

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 23.94	Nq = 13.20	Nγ = 9.46
Fattori di forma	Sc = 1.53	Sq = 1.27	Sγ = 1.27
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ_c = 1.00	Ψ_q = 1.00	Ψ_γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 1.00	Iq = 1.00	Iγ = 1.00
Fattori di profondità	Dc = 1.18	Dq = 1.09	Qγ = 1.09

Il valore della capacità portante di progetto risulta pertanto pari a:

$$q_d = 9{,}78/2{,}3 = 4{,}25 \text{ kg/cmq}$$

Si riporta di seguito la vista delle pressioni trasmesse al terreno di fondazione per la combinazione inviluppo SLU/SLV:

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

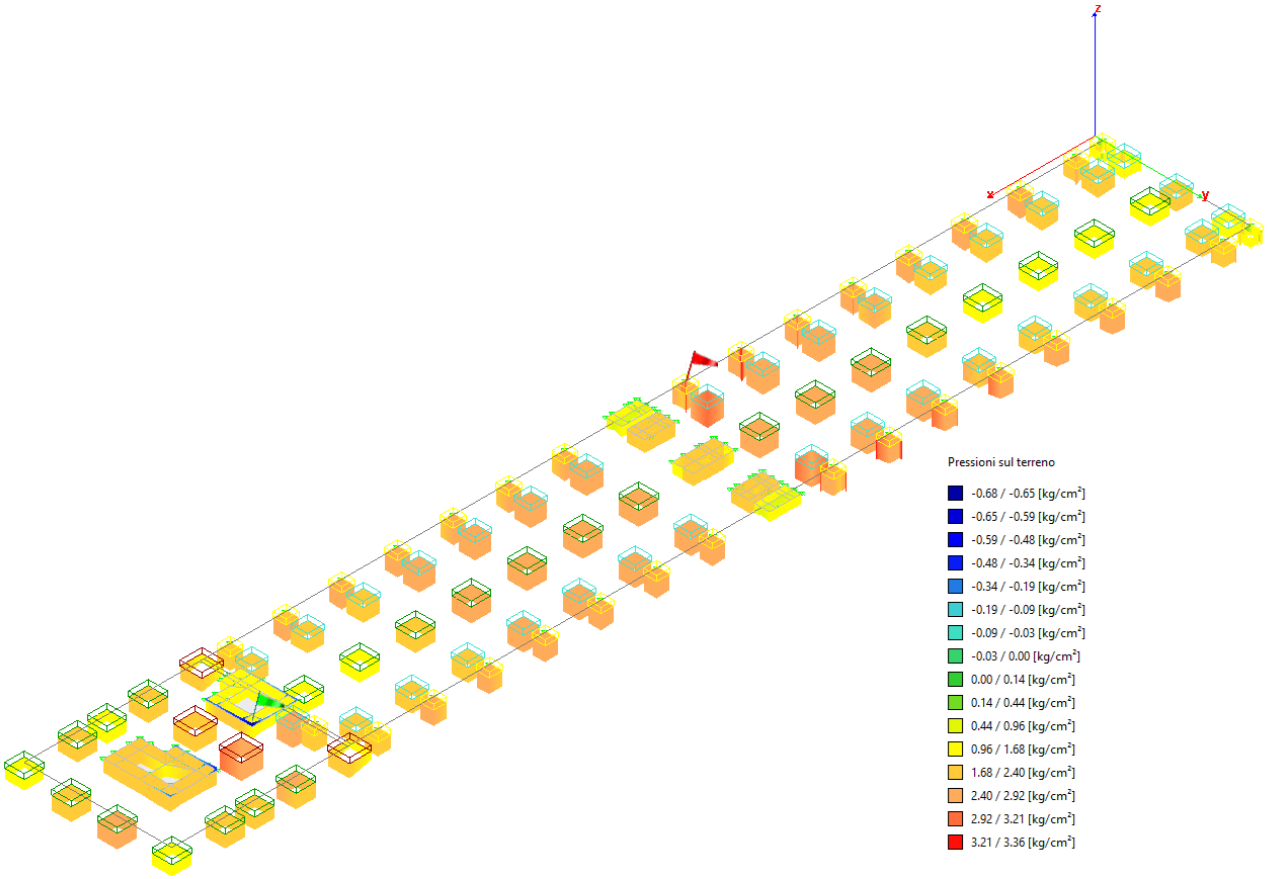

Figura 3: diagramma delle pressioni sul terreno.

Come si vede le pressioni trasmesse al terreno di fondazione risultano inferiori alla capacità portante di progetto:

$$q_{Ed} = 3{,}36 \text{ kg/cmq} < 4{,}25 \text{ kg/cmq}$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

4.2. Valutazioni sui cedimenti del terreno di fondazione (SLE)

La valutazione dei cedimenti del terreno di fondazione sotto i carichi di esercizio (SLE-GEO) sono state eseguite con il software CARL dell'Aztec Informatica, in condizioni drenate (lungo termine) alla luce della natura del terreno presente in sito, seguendo l'*Approccio 2* (A1+M1+R3), con riferimento al palo CFA riduttore di cedimento caratterizzato dal carico più gravoso.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Lo scarico massimo di progetto alla base del plinto maggiormente sollecitato (380x380cm) per la condizione più gravosa, riferito alla combinazione SLE Quasi Permanente delle azioni, risulta pari a:

$$\mathbf{N_{SLE} = 263.224\ kg}$$

Pertanto, lo scarico massimo agente sul singolo palo, considerando la presenza di n.9 pali per plinto, risulta pari a:

$$\mathbf{N_{SLE} = 263.224/9 = 29.247\ kg}$$

Richiami teorici

Calcolo dei cedimenti verticali dei pali

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo degli elementi finiti.

Determinata la portanza laterale e di punta del palo lo stesso viene discretizzato in n elementi tipo trave aventi area ed inerzia corrispondenti alla sezione trasversale del palo e lunghezza pari ad l_e. Vengono disposte, inoltre, lungo il fusto del palo una serie di molle (una per ogni elemento), coassiali al palo stesso, aventi rigidezza opportuna. Una ulteriore molla viene disposta alla base del palo. Le suddette molle hanno un comportamento elastoplastico. In particolare le molle lungo il fusto saranno in grado di reagire linearmente fino a quando la pressione in corrispondenza di esse non raggiunge il valore limite dell'aderenza palo terreno. Una volta raggiunto tale valore le molle non saranno più in grado di fornire ulteriore resistenza. La molla posta alla base del palo avrà invece una resistenza limite pari alla portanza di punta del palo stesso.

Per la determinazione delle rigidezze delle molle si assume uno spostamento di riferimento pari a ΔY=0.500.

La rigidezza della generica molla, posta a profondità *z* rispetto al piano campagna sarà data da

$$R_l = \frac{(c_a + \sigma_h K_s tg\delta)\pi D\ l_e}{\Delta Y}$$

In questa espressione c_a è l'aderenza palo terreno, σ_h è la pressione orizzontale alla profondità *z*, δ è l'angolo d'attrito palo terreno, K_s è il coefficiente di spinta e *D* è il diametro del palo.

Indicando con Q_p la portanza alla punta del palo, la rigidezza della molla posta alla base dello stesso è data da:

$$R_p = \frac{Q_p}{\Delta Y}$$

Il processo di soluzione è, naturalmente, di tipo iterativo: a partire da un carico iniziale N_0 si determinano gli spostamenti assiali e quindi le reazioni delle molle. La reazione della molla dovrà essere corretta per tener conto di eventuali plasticizzazioni rispettando le equazioni di equilibrio per ogni passo di carico. Il carico iniziale verrà allora incrementato di un passo opportuno ΔN e si ripeterà il procedimento. Il processo iterativo termina quando tutte le molle risultano plasticizzate.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descr	Descrizione del palo
Frm	Forma del palo ((C)=Costante, (R)=Rastremato)
X	Ascissa del baricentro del palo espressa in [m]
Y	Ordinata del baricentro del palo espressa in [m]
D	Diametro del palo espresso in [cm]
L	Lunghezza del palo espressa in [m]

Descr	Frm	X	Y	D	L
		[m]	*[m]*	*[cm]*	*[m]*
Palo	(C)	0,00	0,00	42,00	10,00

Materiali palo

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R_{ck}	250,00	[kg/cmq]
Peso specifico	2500,00	[kg/mc]
Modulo elastico	0,00	[kg/cmq]
Coeff. di omogeneizzazione	15,00	

Acciaio

Tipo	B450C	
Tensione caratteristica di snervamento	4588,65	[kg/cmq]

Coefficienti di sicurezza sui materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.50
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Coefficiente di sicurezza sezione	1.00

Caratteristiche pali

Pali in c.a.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Armatura con ferri longitudinali e staffe

Vincolo in testa di tipo CERNIERA

Tipo di palo TRIVELLATO

Contributo sia della portanza laterale sia della portanza di punta

Descrizione terreni e falda

imbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
c	Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]
ϕ_{min}, ϕ_{med}	Angolo di attrito interno del terreno minimo e medio espresso in gradi
δ_{min}, δ_{med}	Angolo di attrito palo-terreno minimo e medio espresso in gradi
c_{min}, c_{med}	Coesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq]
ca_{min}, ca_{med}	Adesione del terreno minima e media espressa in [kg/cmq]

Parametri caratteristici

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca
	[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	1800,0	2000,0	27,00	18,00	0,200	0,100
Terreno 2	1800,0	2000,0	33,00	22,00	0,000	0,000
Terreno 3	1800,0	2000,0	22,00	15,00	0,040	0,020

Parametri minimi

Descrizione	ϕ_{min}	δ_{min}	c_{min}	ca_{min}
	[°]	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	27,00	18,00	0,200	0,100
Terreno 2	33,00	22,00	0,000	0,000
Terreno 3	22,00	15,00	0,040	0,020

Parametri medi

Descrizione	ϕ_{med}	δ_{med}	c_{med}	ca_{med}
	[°]	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	27,00	18,00	0,200	0,100
Terreno 2	33,00	22,00	0,000	0,000
Terreno 3	22,00	15,00	0,040	0,020

Falda

Profondità dal piano di posa 2,20 [m]

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

N	Identificativo strato
Z1	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
Z2	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
Z3	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Terreno Terreno dello strato

Kw Costante di Winkler espressa in Kg/cm^2/cm

Ks Coefficiente di spinta

α Coefficiente di espansione laterale

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	Kw	Ks	α
	[m]	*[m]*	*[m]*		*[kg/cmq/cm]*		
1	-6,0	-6,0	-6,0	Terreno	1.00	0.55	1.00
2	-7,0	-7,0	-7,0	Terreno 3	1.00	0.46	1.00
3	-15,0	-15,0	-15,0	Terreno 2	1.00	0.63	1.00

Normativa

N.T.C. 2018

Simbologia adottata

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

$\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

γ_{γ} Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

			Statici		Sismici	
Carichi	Effetto		A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

		Statici		Sismici	
Parametri		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

PALI DI FONDAZIONE

CARICHI VERTICALI. Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei pali

Pali trivellati

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

		R1	R2	R3
Punta	γ_b	1.00	1.70	1.35
Laterale compressione	γ_s	1.00	1.45	1.15
Totale compressione	γ_t	1.00	1.60	1.30
Laterale trazione	γ_{st}	1.00	1.60	1.25

CARICHI TRASVERSALI. Coefficienti parziali γ_T per le verifiche dei pali.

		R1	R2	R3
	γ_T	1.00	1.60	1.30

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 10 ξ_3=1.40 ξ_4=1.21

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

fnd Indice della fondazione

N_{TOT} Sforzo normale totale espressa in [kg]

My_{TOT} Momento in direzione Y espresso in [kgm]

T_{TOT} Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1

Fondazione	N_{TOT}	My_{TOT}	Tx_{TOT}
	[kg]	*[kgm]*	*[kg]*
Palo	29247,0	0,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Combinazione n° 1 - A1-M1-R3

Cond	γ	Ψ
Condizione n° 1	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza assiale

Il metodo utilizzato per il calcolo della portanza verticale è: Hansen.

E' stato richiesto di correggere l'angolo di attrito in funzione del tipo di palo (Trivellato/Infisso).

L'andamento della pressione verticale σ_V con la profondità, per il calcolo della portanza di punta, è stata definita come: Pressione geostatica.

Verifica della portanza trasversale

Costante di Winkler orizzontale definita da STRATO

Criterio di rottura palo-terreno: Pressione limite (Pressione passiva con moltiplicatore = 3.00)

Cedimento verticale in testa ai pali

Per il calcolo dei cedimenti è stato utilizzato il metodo degli Elementi Finiti.

Spostamento limite attrito laterale: 0,50 [cm]

Spostamento limite punta: 1,00 [cm]

Risultati

Cedimento verticale in testa ai pali

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w Cedimento in testa al palo, espresso in [cm]

u Spostamento orizzontale in testa al palo, espresso in [cm]

cmb	w	u
	[cm]	*[cm]*
1	0,3470	0,0000

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

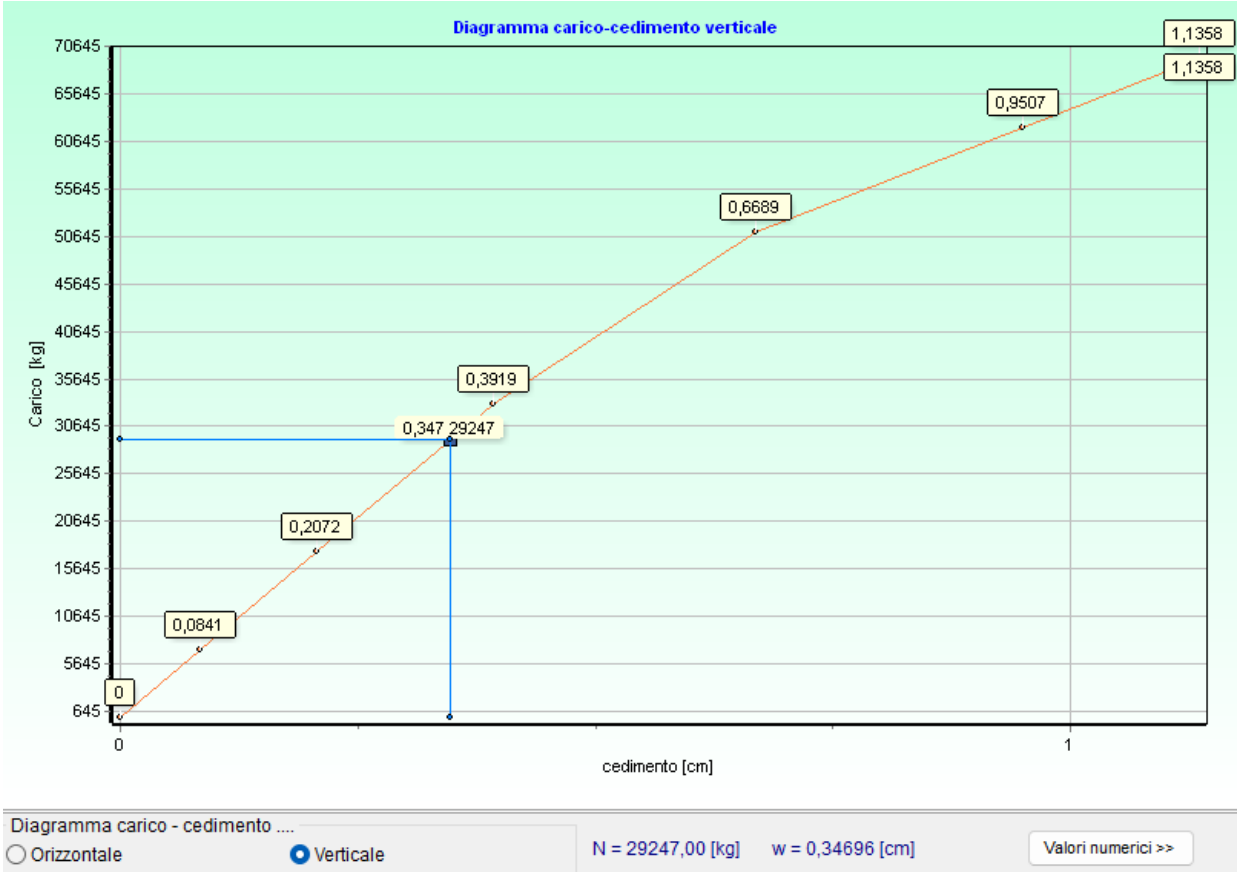

Figura 4: Diagramma carico-cedimento per il palo maggiormente sollecitato.

Il cedimento massimo atteso sotto i carichi di esercizio, valutati per la combinazione dei carichi SLE Quasi Permanente risulta pari a **0,347 cm**. Cedimento compatibile con la tipologia strutturale ed i requisisti prestazionali richiesti.

<u>La verifica risulta pertanto soddisfatta.</u>

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

5. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI – PLATEA AREA "GE"

5.1. Valutazioni sulla portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO)

Le verifiche di portanza del terreno di fondazione (SLU-GEO) sono state eseguite con il software CARL dell'Aztec Informatica, in condizioni drenate (lungo termine) alla luce della natura del terreno presente in sito, seguendo l'*Approccio 2* (A1+M1+R3).

Si riporta di seguito la valutazione della capacità portante valutata con riferimento al plinto maggiormente sollecitato (plinti 320x320cm):

Richiami teorici

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q. Cioè, detto Q_u, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R >= \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c\, N_c\, d_c\, i_c + q\, N_q\, d_q\, i_q + 0.5\, \gamma\, B\, N_\gamma\, d_\gamma\, i_\gamma$$

In questa espressione:

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$A = e^{\pi\, tg\, \phi}$

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

$N_q = A\ tg^2(45° + \phi/2)$

$N_c = (N_q - 1)\ ctg\ \phi$

$N_\gamma = (N_q - 1)\ tg\ (1.4\phi)$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$K_p = tg^2(45° + \phi/2)$

I fattori *d* e *i* che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

<u>Fattori di profondità</u>

$d_q = 1 + 0.2\ (D / B)\ K_p^{0.5}$

$d_q = d_\gamma = 1$ per $\phi = 0$

$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\ (D / B)\ sK_p^{0.5}$ per $\phi > 0$

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$i_c = i_q = (1 - \theta°/90)^2$

$i_\gamma = [1 - (\theta° / \phi°)]^2$ per $\phi > 0$

$i_\gamma = 0$ per $\phi = 0$

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
		[m]	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*
Fondazione	(R)	0,00	0,00	23,00	76,00	0,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γsat Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

c Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]

Descr	γ	γsat	ϕ	δ	c	ca
	[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	1800,0	2000,0	27.00	18.00	0,200	0,100

Falda

Profondità dal piano campagna 2,20 [m]

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [kg/cmq]

Descrizione	E	ν
	[kg/cmq]	
Terreno	90,00	0.400

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

kh Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 3,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 0,0 [m] Y = 3,0 [m]

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	kh
	[m]	*[m]*	*[m]*		
1	-10,0	-10,0	-10,0	Terreno	1,00

Normativa

N.T.C. 2018

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Simbologia adottata

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

$\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

γ_{γ} Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

			Statici		Sismici	
Carichi	**Effetto**		**A1**	**A2**	**A1**	**A2**
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

		Statici		Sismici	
Parametri		**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3	R3sism
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30	1.80
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N Sforzo normale totale espressa in [kg]

Mx Momento in direzione X espressa in [kgm]

My Momento in direzione Y espresso in [kgm]

ex Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

ey Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T Forza di taglio espressa in [kg]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Condizione n° 1 - SLU

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	6284963,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Condizione n° 2 - SLE

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	3940755,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Combinazione n° 1 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLU	1.00	1.00

Combinazione n° 2 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLE	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Verifica al carico limite

Metodo di calcolo della portanza: Meyerhof

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente: MEDIA ARITMETICA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: VESIC

Riduzione per comportamento a piastra.

Risultati

Verifica della portanza per carichi verticali

Simbologia adottata

Cmb	Indice della combinazione
Fnd	Indice della fondazione
PF	Rottura per punzonamento in presenza di falda
q_u	Portanza ultima, espressa in [kg/cmq]
q_d	Portanza di progetto, espressa in [kg/cmq]
P_u	Portanza ultima, espressa in [kg]
P_d	Portanza di progetto, espressa in [kg]
V	Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kg]
η	Fattore di sicurezza a carico limite ($\eta=P_d/V$)

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Cmb	Fnd	PF	q_u	q_d	P_u	P_d	V	η
			[kg/cmq]	*[kg/cmq]*	*[kg]*	*[kg]*	*[kg]*	
1	1	NO	17,66	7,68	308650589	134195908	6284963	21.35
2	1	NO	17,66	7,68	308650589	134195908	3940755	34.05

Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

Simbologia adottata

Cmb Indice della combinazione

Fnd Indice della fondazione

H Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]

γ Peso di volume, espressa in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito, espressa in [°]

c Coesione, espressa in [kg/cmq]

G Modulo di taglio, espresso in [kg/cmq]

B' Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($B'=B-2e_x$), espressa in [m]

L' Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($L'=L-2e_y$), espressa in [m]

R_{ex} Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X

R_{ey} Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y

I_R Indice di rigidezza

I_{RC} Indice di rigidezza critico

Cmb	Fnd	H	γ	ϕ	c	G	B'	L'	Rex	Rey	I_C	I_{RC}
		[m]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[m]*	*[m]*				
1	1	18,77	1400,00	27.00	0,20	1718,09	23,00	76,00	--	--	1962.12	87.33
2	1	18,77	1400,00	27.00	0,20	1718,09	23,00	76,00	--	--	1962.12	87.33

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Fattori correttivi verifica capacità portante

Combinazione n° 1

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 23.94	Nq = 13.20	Nγ = 9.46
Fattori di forma	Sc = 1.16	Sq = 1.08	Sγ = 1.08
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ_c = 1.00	Ψ_q = 1.00	Ψ_γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 1.00	Iq = 1.00	Iγ = 1.00
Fattori di profondità	Dc = 1.00	Dq = 1.00	Qγ = 1.00

Combinazione n° 2

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 23.94	Nq = 13.20	Nγ = 9.46
Fattori di forma	Sc = 1.16	Sq = 1.08	Sγ = 1.08
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ_c = 1.00	Ψ_q = 1.00	Ψ_γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 1.00	Iq = 1.00	Iγ = 1.00
Fattori di profondità	Dc = 1.00	Dq = 1.00	Qγ = 1.00

Il valore della capacità portante di progetto risulta pertanto pari a:

$$q_d = 17,66/2,3 = 7,68 \text{ kg/cmq}$$

Si riporta di seguito la vista delle pressioni trasmesse al terreno di fondazione per la combinazione inviluppo SLU/SLV:

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

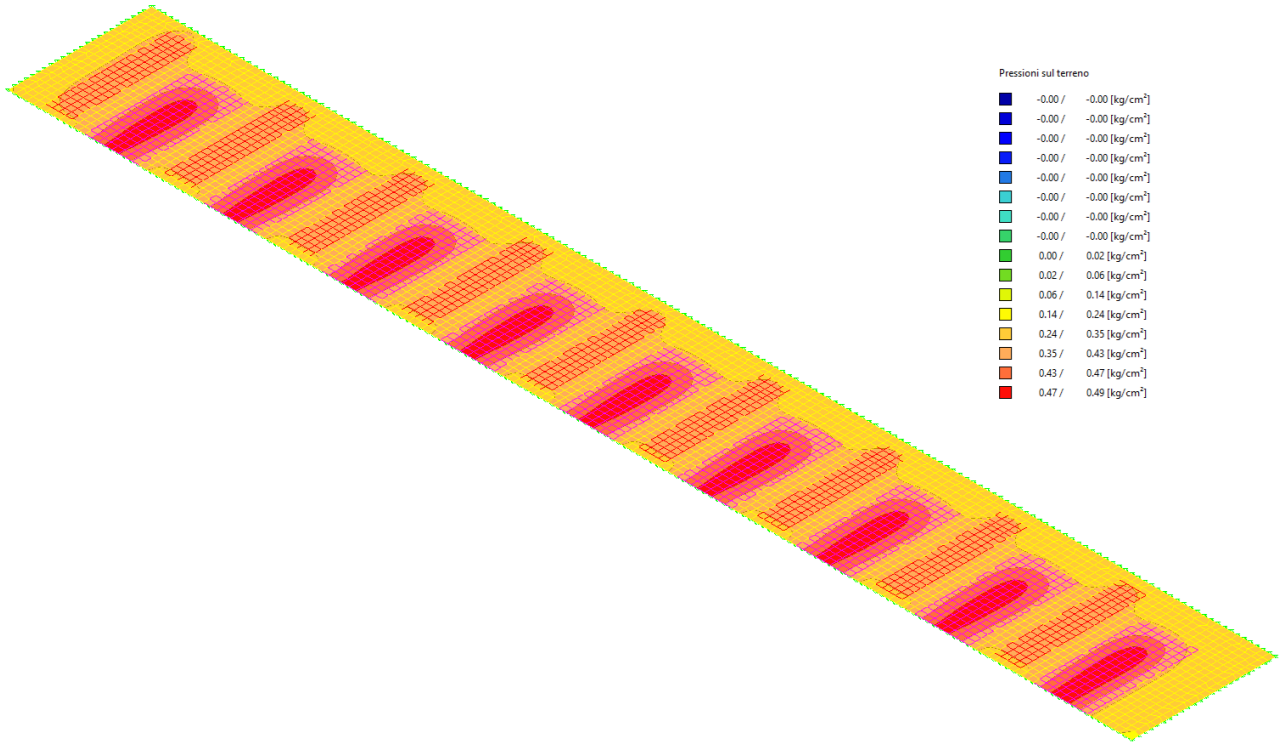

Figure 5: diagramma delle pressioni sul terreno.

Come si vede le pressioni trasmesse al terreno di fondazione risultano inferiori alla capacità portante di progetto:

$$q_{Ed} = 0{,}49 \text{ kg/cmq} < 7{,}68 \text{ kg/cmq}$$

<u>La verifica risulta pertanto soddisfatta</u>.

5.2. Valutazioni sui cedimenti del terreno di fondazione (SLE)

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

La valutazione dei cedimenti del terreno di fondazione sotto i carichi di esercizio (SLE-GEO) sono state eseguite con il software CARL dell'Aztec Informatica, in condizioni drenate (lungo termine) alla luce della natura del terreno presente in sito, seguendo l'*Approccio 2* (A1+M1+R3), con riferimento al palo CFA riduttore di cedimento caratterizzato dal carico più gravoso.

Lo scarico massimo di progetto alla base della prima porzione di platea di estensione pari a circa 76,90 m, riferito alla combinazione SLE Quasi Permanente delle azioni, risulta pari a:

$$\mathbf{N_{SLE} = 3.940.755\ kg}$$

Richiami teorici

<u>Cedimenti della fondazione</u>

Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti, così come implementato, fornisce due valori:

- uno per deformazione laterale impedita (**w_{imp}**)

- uno in condizioni di deformazione laterale libera (**w_{lib}**)

L'espressione di **w_{imp}** è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_i \ (1 - \nu - 2\,\nu^2)}{E_i \ (1 - \nu)} \Delta z_i$$

dove

Δσ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità **z**, dalla pressione di contatto della fondazione;

E è il modulo elastico relativo allo strato **i-esimo**;

Δz rappresenta lo spessore dello strato **i-esimo** in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico;

ν è il coefficiente di **Poisson**.

L'espressione di **w_{lib}** è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove i termini sono stati già descritti sopra.

Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto. I valori del cedimento ottenuti dalle due relazioni rappresentano un valore minimo **w_{imp}** e un valore massimo **w_{lib}** del cedimento in condizioni elastiche della fondazione analizzata.

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
		[m]	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[°]*	*[°]*
Fondazione	(R)	0,00	0,00	23,00	76,00	0,00	0,00	0,00

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γsat Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]

Descr	γ	γsat	ϕ	δ	c	ca
	[kg/mc]	*[kg/mc]*	*[°]*	*[°]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*
Terreno	1800,0	2000,0	27.00	18.00	0,200	0,100

Falda

Profondità dal piano campagna 2,20 [m]

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [kg/cmq]

Descrizione	E	ν
	[kg/cmq]	
Terreno	90,00	0.400

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

kh Coefficiente per calcolo resistenza superfici laterali

Punto di sondaggio n° 1: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 3,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 0,0 [m] Y = 3,0 [m]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

n°	Z1	Z2	Z3	Terreno	kh
	[m]	*[m]*	*[m]*		
1	-10,0	-10,0	-10,0	Terreno	1,00

Normativa

N.T.C. 2018

Simbologia adottata

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

$\gamma_{c'}$ Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

γ_{γ} Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

			Statici		Sismici	
Carichi	**Effetto**		**A1**	**A2**	**A1**	**A2**
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

		Statici		Sismici	
Parametri		**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3	R3sism
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30	1.80
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

Fondazione Nome identificativo della fondazione

N Sforzo normale totale espressa in [kg]

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Mx Momento in direzione X espressa in [kgm]

My Momento in direzione Y espresso in [kgm]

ex Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]

ey Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]

β Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - SLU

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	6284963,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Condizione n° 2 - SLE

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	*[kgm]*	*[kgm]*	*[m]*	*[m]*		*[kg]*
Fondazione	3940755,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0	0,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLU	1.00	1.00

Combinazione n° 2 A1-M1-R3

Nome	γ	Ψ
SLE	1.00	1.00

Opzioni di calcolo

Analisi in condizioni drenate

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il **metodo Elastico**.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

E' stato richiesto di tenere in conto della fondazione compensata.

Risultati

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Cedimenti

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_i Cedimento elastico espresso in [cm]

w_{imp} Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]

H Spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Fondazione

cmb	w_i	w_{imp}	H	X	Y
	[cm]	*[cm]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*
2	2,33	2,13	22,60	0,00	0,00

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

ΔWi Cedimento elastico espresso in [cm]

ΔWimp Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]

Combinazione n° 2 (Fondazione n° 1)

Strato	Terreno	ΔH	ΔWi
		[m]	*[cm]*
1	Terreno	22,60	2,3295
		22,60	**2,3295**

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dell'i-esimo strato

z quota media dell'i-esimo strato espresso in [m]

ΔH spessore dello strato i-esimo espresso in [cm]

Δσv incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]

E modulo elastico dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]

ΔW cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm]

Combinazione n° 2 (Fondazione n° 1)

n°	z	ΔH	Δσv	E	Δw
	[m]	*[cm]*	*[kg/cmq]*	*[kg/cmq]*	*[cm]*
1	-0,07	0,15	0,23	90,00	-0,0011
2	-0,22	0,15	0,23	90,00	-0,0032
3	-0,37	0,15	0,23	90,00	-0,0052
4	-0,51	0,15	0,23	90,00	-0,0071
5	-0,66	0,15	0,23	90,00	-0,0087
6	-0,81	0,15	0,23	90,00	-0,0102
7	-0,95	0,15	0,23	90,00	-0,0113
8	-1,10	0,15	0,23	90,00	-0,0122
9	-1,25	0,15	0,23	90,00	-0,0128
10	-1,39	0,15	0,23	90,00	-0,0130
11	-1,54	0,15	0,23	90,00	-0,0130
12	-1,69	0,15	0,23	90,00	-0,0127
13	-1,83	0,15	0,23	90,00	-0,0122
14	-1,98	0,15	0,22	90,00	-0,0115
15	-2,13	0,15	0,22	90,00	-0,0106
16	-2,88	1,36	0,22	90,00	-0,0375
17	-4,24	1,36	0,22	90,00	0,0760
18	-5,60	1,36	0,22	90,00	0,1482
19	-6,96	1,36	0,21	90,00	0,1850
20	-8,32	1,36	0,20	90,00	0,2017
21	-9,68	1,36	0,20	90,00	0,2078
22	-11,04	1,36	0,19	90,00	0,2083
23	-12,40	1,36	0,18	90,00	0,2057
24	-13,76	1,36	0,17	90,00	0,2012
25	-15,12	1,36	0,16	90,00	0,1956
26	-16,48	1,36	0,15	90,00	0,1895
27	-17,84	1,36	0,15	90,00	0,1830
28	-19,20	1,36	0,14	90,00	0,1764
29	-20,56	1,36	0,13	90,00	0,1698
30	-21,92	1,36	0,12	90,00	0,1634
		22,60			**2,3295**

Si riporta inoltre la mappa dei cedimenti della platea di fondazione sotto i carichi di esercizio:

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.

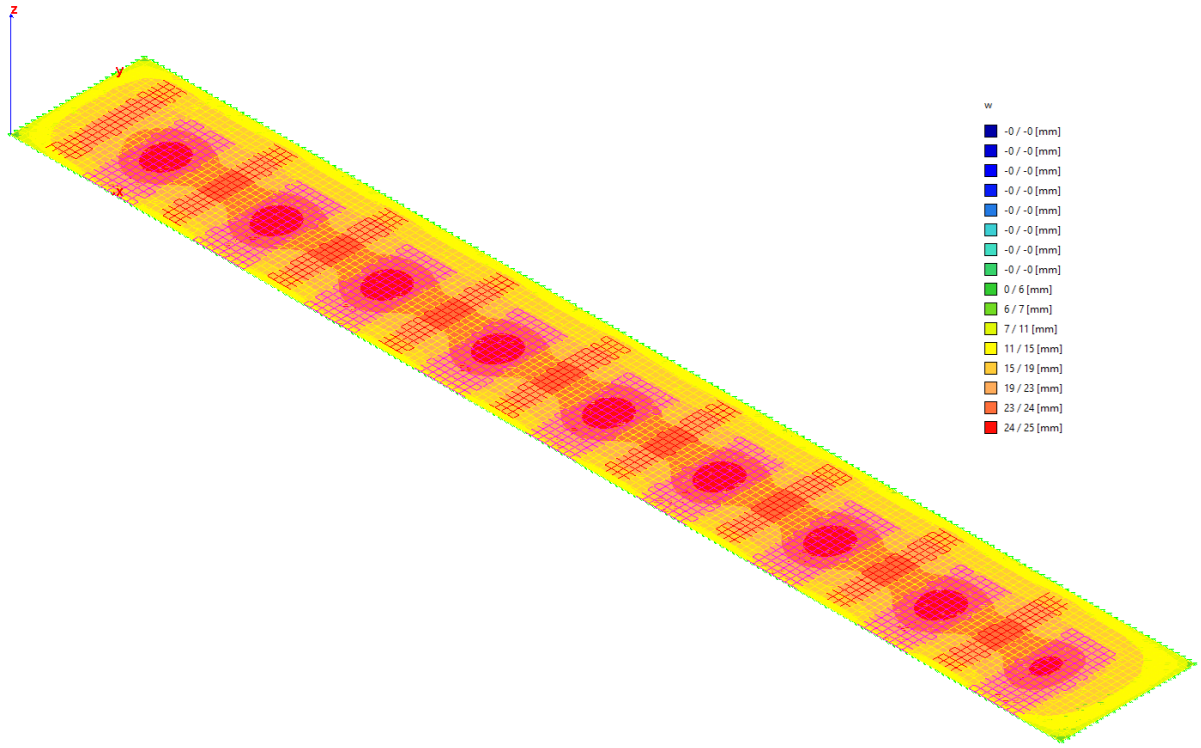

Figura 6: mappa dei cedimenti della platea di fondazione

Il cedimento medio atteso sotto i carichi di esercizio, valutati per la combinazione dei carichi SLE Quasi Permanente risulta pari a **2,32 cm**. Cedimento compatibile con la tipologia strutturale ed i requisisti prestazionali richiesti.

<u>La verifica risulta pertanto soddisfatta.</u>

PROPERTY OF DBA S.p.A. NOT USABLE OR REPRODUCIBLE (EVEN IN PART) WITHOUT WRITTEN CONSENT FROM DBA S.p.A.